

国防电子信息技术丛书

数据链系统与技术

赵志勇 毛忠阳 张嵩 刘锡国 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

前 言

数据链是以通信网络为纽带，以信息处理为核心，将遍布陆海空的战场感知系统、指挥自动化系统、火力打击系统和信息攻击系统等作战要素联为一个有机整体的信息网络系统，是传感器、指挥控制系统与武器平台综合一体化建设和数字集成的基础，是实现战场信息共享、缩短指挥决策时间、快速实施打击的保障。数据链作为“现代信息化作战的神经网络”，在多种平台间构建了“交叉”式传输网络，变革传统的树叉式信息传输模式为扁平化传输模式，使诸军兵种的各级指战员能在第一时间共享各种战术信息，实现信息传输的实时性。

数据链在军事上的应用水平在很大程度上决定着信息化战争的水平 and 能力。所以，加紧研究数据链的消息格式、信息传输、网络协议、通信安全等关键技术刻不容缓。战场信息的实时多维感知、战场信息的实时共享及目标的实时打击是数据链发展的方向，数据链是未来信息化战争取得战场主动权的有力保障。各国越来越重视对数据链的研究，尤其是美军/北约对数据链的研究和应用最为广泛，且在各种数据链研制方面尚处于领先地位。

该书紧跟数据链的发展趋势，及时、全面反映数据链的最新技术，力求语言精练、图文并茂，所述内容能够深入浅出、全面准确地反映当前数据链的新技术、新体制和未来的发展趋势。

全书共分 9 章。第 1 章数据链的基本概念。主要介绍数据链的定义、类型、基本组成、特征，以及数据链在指挥控制系统、ISR 系统和武器系统中的应用；第 2 章数据链的发展历程。主要介绍了数据链的兴起背景、外军战术数据链和宽带数据链的发展历程，并分析了外军数据链的发展特点和趋势；第 3 章 Link-4、Link-11 和 Link-22 数据链。主要介绍了 Link-4、Link-11 和 Link-22 三种典型战术数据链的系统组成、系统特性、组网方式等内容；第 4 章 Link-16 数据链。主要从 TDMA 多址方式、传输消息类型、时隙分配、时间同步、传输波形、射频信号、消息封装结构等方面介绍了 Link-16 数据链的系统特性，从通信加密、多网、网络角色、精确参与定位与识别、相对导航、话音通信、中继、网络参与组功能等方面详细介绍了 Link-16 数据链的功能；第 5 章数据链的消息格式。主要介绍了 Link-16 和 Link-22 数据链的消息格式，并分析了消息格式的描述方法和数据元素字典的概念；第 6 章数据链的信息传输。分别从信道特性、调制技术和编码技术三个方面，详细分析了数据链系统所采用的信息传输技术；第 7 章数据链的网络协议。主要介绍了网络互联的基本概念，分析了数据链网络的拓扑结构和网络协议栈，并以 Link-16 数据链为对象，深入剖析了数据链网络协议的体系结构，最后，分析了无线网络的 MAC 协议的类型及其在典型战术数据链中的应用；第 8 章数据链的通信安全。从通信抗干扰与抗干扰技术的理论基础出发，分析了通信干扰与抗干扰的类型、准则和特点，详细阐述了数据链系统中采用的扩频抗干扰技术，并以外军典型的战术数据链 Link-16 为对象，重点分析了它的抗干扰和保密措施；第 9 章数据链的新发展。主要从数据链端机设计、网络协议及新兴数据链系统三个方面介绍数据链技术的新发展。

目 录

第 1 章 数据链的基本概念	1
1.1 信息化战争中的数据链	1
1.1.1 数据链在近几场局部战争中的运用	1
1.1.2 数据链对信息化作战的影响	3
1.2 数据链的定义	4
1.3 数据链的类型	6
1.4 数据链的基本组成	8
1.5 数据链的特征	9
1.6 数据链的作用	12
1.6.1 在指挥控制系统中的作用	12
1.6.2 在 ISR 系统中的作用	16
1.6.3 在武器系统中的作用	20
小结	21
思考题	21
参考文献	22
第 2 章 数据链的发展历程	23
2.1 数据链的兴起背景	23
2.2 战术数据链的发展历程	23
2.2.1 酝酿和产生	23
2.2.2 单一功能数据链的产生和发展	24
2.2.3 协同与整合	25
2.2.4 完善和综合	25
2.3 宽带数据链的发展历程	26
2.3.1 产生背景	26
2.3.2 从各军兵种专用到标准统一	26
2.3.3 基于 CDL 标准的宽带数据链	28
2.4 外军数据链发展特点和趋势	29
2.4.1 外军数据链的发展特点	29
2.4.2 数据链的发展趋势	30
小结	32
思考题	32
参考文献	32

第 3 章 Link-4、Link-11 和 Link-22 数据链	33
3.1 Link-4 数据链	33
3.1.1 Link-4A 数据链	33
3.1.2 Link-4C 数据链	34
3.2 Link-11 数据链	34
3.2.1 Link-11 数据链的系统组成	34
3.2.2 Link-11 数据链的调制技术特点	35
3.2.3 Link-11 数据链的组网方式与工作模式	36
3.2.4 Link-11 数据链的消息格式	39
3.3 Link-22 数据链	41
3.3.1 Link-22 数据链的系统特性	41
3.3.2 Link-22 数据链的系统组成	43
3.3.3 Link-22 数据链的网络结构	44
3.3.4 Link-22 数据链报文	46
小结	49
思考题	49
参考文献	50
第 4 章 Link-16 数据链	51
4.1 Link-16 数据链的发展历程	51
4.2 Link-16 数据链的 TDMA 接入方式	52
4.2.1 时隙划分	53
4.2.2 时帧	53
4.2.3 时隙块	54
4.2.4 时隙互斥	55
4.3 传输消息类型	56
4.3.1 报头	56
4.3.2 固定格式消息	56
4.3.3 可变格式消息	60
4.3.4 自由文体消息	60
4.4 时隙分配	60
4.4.1 网络参与组	60
4.4.2 单元类型	62
4.4.3 时隙访问方式	62
4.5 时间同步	62
4.5.1 粗同步	63
4.5.2 主动式精同步	64
4.5.3 被动式精同步	66
4.5.4 时间同步保持	66

4.6	传输波形	68
4.6.1	CCSK 与码片序列	68
4.6.2	伪随机噪声	68
4.6.3	载波调制	69
4.6.4	单脉冲与双脉冲	69
4.7	射频信号	70
4.7.1	通信模式	70
4.7.2	工作频段	70
4.8	消息封装格式	71
4.8.1	时隙的构成	71
4.8.2	消息封装格式	73
4.9	格式化消息发射信号产生过程	76
4.10	多网	76
4.10.1	多个网络	76
4.10.2	重叠网	77
4.10.3	多重网	77
4.11	网络角色	78
4.11.1	时间基准	78
4.11.2	位置基准	78
4.11.3	初始入网 JU 单元	80
4.11.4	导航控制器	80
4.11.5	辅助导航控制器	80
4.11.6	主要用户	80
4.11.7	次要用户	80
4.11.8	数据转发单元	80
4.12	精确参与定位与识别	81
4.12.1	精确定位	82
4.12.2	识别	82
4.12.3	状态	82
4.12.4	时间品质	82
4.12.5	位置品质	82
4.12.6	被动时间同步	82
4.13	导航	83
4.13.1	相对导航	83
4.13.2	地理导航	83
4.14	话音通信	84
4.15	中继	84
4.15.1	配对时隙中继	84
4.15.2	再传中继	86

4.15.3 寻址中继	87
4.16 网络参与组功能	87
4.17 距离扩展技术	90
4.17.1 卫星战术数据链 STDL	90
4.17.2 卫星战术数据链 S-TADIL J	90
4.17.3 卫星数据链的作用和特点	91
小结	94
思考题	94
参考文献	95
第 5 章 数据链的消息格式	97
5.1 数据链的消息标准	97
5.2 Link-16 数据链的消息格式	98
5.2.1 字类型	98
5.2.2 初始字	99
5.2.3 扩展字	100
5.2.4 继续字	101
5.3 Link-22 数据链的消息格式	101
5.3.1 F 系列字结构	101
5.3.2 FJ 系列字结构	102
5.4 消息描述	103
5.4.1 消息摘要	103
5.4.2 发送/接收规则	105
5.4.3 字表达形式	105
5.5 数据元素字典	111
5.5.1 格式化消息的句法	111
5.5.2 格式化消息的语义	112
5.5.3 数据链数据元素字典	112
小结	113
思考题	113
参考文献	114
第 6 章 数据链的信息传输	115
6.1 数据链的传输信道	115
6.1.1 电磁波的空间传输	115
6.1.2 典型数据链的传输信道	117
6.2 数据链的调制技术	124
6.2.1 Link-11 数据链的 $\pi/4$ -DQPSK 调制	124
6.2.2 Link-16 数据链的 MSK 调制	129
6.2.3 Link-22 数据链的 8PSK 调制	132

6.3	数据链的编码技术	133
6.3.1	差错控制技术原理	133
6.3.2	Link-11 数据链的汉明码	134
6.3.3	Link-16 数据链的 RS 码	138
6.3.4	Link-22 数据链的卷积码	140
	小结	142
	思考题	142
	参考文献	143
第 7 章	数据链的网络协议	144
7.1	网络互联的基本概念	144
7.1.1	关键技术	144
7.1.2	网络协议	146
7.2	数据链的网络拓扑结构	147
7.3	数据链的网络协议体系结构	148
7.3.1	数据链网络协议栈	149
7.3.2	Link-16 数据链的网络协议	150
7.4	无线 MAC 协议及其在数据链中的应用	153
7.4.1	无线通信网络的 MAC 协议	154
7.4.2	战术数据链的 MAC 协议	160
	小结	163
	思考题	164
	参考文献	164
第 8 章	数据链的通信安全	165
8.1	通信对抗	165
8.1.1	通信干扰	165
8.1.2	抗干扰通信	170
8.2	抗干扰理论基础	173
8.2.1	理论公式	173
8.2.2	处理增益和干扰容限	174
8.3	扩频抗干扰技术	175
8.3.1	扩频技术的特点	175
8.3.2	直接序列扩频技术	176
8.3.3	跳频技术	179
8.3.4	跳时技术	183
8.3.5	线性调频	183
8.4	Link-16 数据链的通信安全	184
8.4.1	抗干扰措施	184
8.4.2	通信加密	188

小结	189
思考题	189
参考文献	189
第9章 数据链的新发展	191
9.1 软件无线电技术及其在数据链端机中的应用	191
9.1.1 软件无线电的基本概念	191
9.1.2 软件无线电提出的背景	191
9.1.3 软件通信体系结构	193
9.1.4 软件无线电技术在数据链中的应用	197
9.2 移动自组织网络技术	198
9.2.1 数据链的动态组网	198
9.2.2 移动自组织网的关键技术	199
9.2.3 移动自组织网的 MAC 协议	201
9.2.4 移动自组织网的路由协议	204
9.3 TTNT 数据链	208
9.3.1 TTNT 数据链提出的背景	208
9.3.2 TTNT 数据链的技术特点	210
9.3.3 TTNT 与 Link-16 数据链的关系	212
小结	214
思考题	214
参考文献	214

第 1 章 数据链的基本概念

自 20 世纪 90 年代初的海湾战争至今，信息化战争作为一种全新的战争形态渐次登上现代战争的历史舞台。任何划时代的战争形态变革，都有其标志性的新武器，只有弄清标志信息时代战争的新武器及其特征，才能真正掌握信息化战争及其特点规律。最初我们遇到的战争形态是冷兵器战争，它的标志性武器就是刀、枪、剑、戟、弓、弩；到了热兵器战争时代，标志性武器变成了枪炮、火药；进入机械化战争时代后，我们看到的标志性武器就是车辆、舰船、飞机；而信息化战争的标志性武器，就是以数据链为核心的作战网络。

1.1 信息化战争中的数据链

1.1.1 数据链在近几场局部战争中的运用

数据链的建设是信息化战争的重要保证，数据链的应用水平在很大意义上决定着信息化战争的水平 and 能力。

海湾战争是第一场以精确打击为主要作战手段的信息化战争。虽然美军当时装备了数据链，如 Link-4、Link-11、PADIL 等，但由于数据链应用范围小、数据链系统种类繁多且各军种专用，这就导致了在组织、管理以及横向互通方面的巨大困难。基本上是作战平台加精确制导武器主导战场，战斗行动仅表现在打击平台的单打独斗，尚未形成由打击平台、航空侦察监视、天基信息系统和指挥控制中心组成的网络体系，部队和武器平台的作战效能未能得到充分发挥。由于没有有效的数据通信和实时指挥系统，目标信息的处理和传输较慢，一般需要数天才能完成。而且，海军舰船、巡航导弹和战机的打击计划需要由直升机送达旗舰指挥官，时效性差，经常出现计划赶不上变化的情况。由于目标信息传输慢，攻击的实时性差，打击移动目标和临时出现的目标非常困难，只能打击固定目标，到战争结束时，伊拉克军队仍有大量的“飞毛腿”导弹机动发射架未被摧毁。

科索沃战争是美国及其北约盟国发动的一场以联合火力打击为主要作战样式的高技术局部战争。除精确打击能力发展较快之外，这场战争的信息化水平有了一定的提高，增强了数据链的应用，并且开始形成数字化和网络化的指挥结构，特别是随着 Link-16 数据链装备数量的增加，数据链在联合火力打击中发挥越来越重要的作用。与海湾战争相比，E-3、E-8 和 F-15 等飞机加装了 Link-16 数据链，可以实现多军种间不同平台的数据交联，由侦察传感器平台感知到的目标数据再也不用在地面/空中不断地周转才能送达武器平台，这大大缩短了目标打击周期。从目标探测感知到实施精确打击的周期由海湾战争的数小时甚至数天缩短为 20 分钟。不过 Link-16 数据链只装在上述少数几种飞机上，而且加装的飞机数量也不多，数字化和网络化程度较低。不过装有 Link-16 数据链的作战平台比没有装备数据链的作战平台的优势被凸显的淋漓尽致，这使得美军更加坚定了发展数据链装备的信念。

阿富汗战争是一场双方实力悬殊的高技术局部战争。在这场战争中，美军继续由机械化向信息化战争转型，继续将高技术装备投入战场进行试验。与海湾战争、科索沃战争中使用了大量高技术兵器相比，阿富汗战争没有使用什么引人注目的兵器，但由于信息化程度的提升，特别是数据链技术的普及，战争的信息化特点更加突出，使得美军的一体化联合作战能力得到快速提升，对快速变化目标的打击能力也得到很大加强。Link-16 数据链的应用范围扩大，除了 F-15E、B-2A 等战机外，F-16、F/A-18E/F、B-52 和 B-1B 等战机也加装了 Link-16 数据链，而且 AC-130 火力支援机和“捕食者”无人侦察机之间还建立了专用数据链。这主要是因为 Link-16 这样的通用战术数据链虽然功能强大，但是由于要兼顾不同平台的信息需求，因而数据传送速率上不高。而“捕食者”和 AC130 之间建立的专用数据链路信息传输速率很高，甚至可以实现战场视频的实时传输。这样，一旦无人机发现目标，就立即将信息发送至 AC130，使得目标打击周期缩短到 10 分钟以内，并且可以有效打击突然出现的偶然目标，据说这类目标占所攻击目标总数的 80% 左右。美军数字化和网络化有了较大的发展，美国空中打击信息体系初具规模。

伊拉克战争中美军进一步地把信息化网络中心战提高到了一个前所未有的水平。尽管美军此时使用的兵器同阿富汗战争、科索沃战争相差无几，甚至同十几年前的海湾战争比较起来也变化不大，但是通过信息化改造，特别是通过数据链，使这些旧兵器发挥了巨大的整体作战效能，数据链的作战使用进入了一个更高的层次。美空军的大部分 F-15E 攻击机和第 40 批以后的 F-16 战斗机，都完成了 Link-16 数据链的加装，形成了空中、空间侦察监视设施和地面指挥中心的网络化结构。战机一次攻击目标的数量增加，F-15E 攻击机一个飞行架次可攻击多达 9 个目标。由于数据链的有效使用，攻击的灵活性和实时性空前提高。美空军部长罗奇称：战争中，空中力量所打击的目标约有 150 多个是突然出现的紧急目标，主要是地空导弹、防空雷达和伊军重要领导人等，美空中力量均能予以有效打击。

数据链与多种通信手段相结合实现了空、海军之间的情报信息共享。美海军“林肯”号航母上装备联合火力打击网络信息系统和传感器信息战术使用系统，不仅各航母编队间可共享情报信息，而且航母编队还能实时利用美空军 RC135、U-2 和“捕食者”侦察到的目标信息，对目标进行打击。

在伊拉克战争中，美军充分利用战术数据链创造的共享信息探测感知优势，重点强调对“时间敏感目标”的打击，实现了“侦察（确认）即打击”的目标。美军空袭兵器和地面部队信息化联网，一旦侦察到敏感目标或地面部队需要空中火力支援时，可立即通过数据链将敌方的目标信息实时传输给指挥中心和空中待航的攻击机，攻击机在最短时间内根据指令实施攻击或火力支援，这一过程大概只有几分钟甚至更短时间。而在海湾战争中美军一般需要 2 天时间才能完成目标侦察、识别和打击准备。

以数据链为支撑的三军联合战术信息分发系统的使用，对于美军发挥信息优势，实施联合作战起到了至关重要的作用。在伊拉克战争中，美军构建了陆、海、空、天一体化的无缝隙全源情报体系，将各种空中侦察平台、武器平台通过数据链达成网络化和一体化，使美军“从传感器到射手”的时间大大缩短。数据链被美军尊称为“战争中作战效能的倍增器”。

1.1.2 数据链对信息化作战的影响

1. 数据链是战场获取信息优势的重要基础

在信息化战场上，信息优势的直接结果是有利于夺取制信息权，获取丰富、及时的信息，这些信息可以使指挥员乃至每个作战单元清楚地了解当前的形势，使战场变得单向透明。信息优势不是简单地指拥有比对方多的信息量，还包括要拥有比对方可靠、快速的信息传输系统和更精确的信息服务等。数据链作为“现代信息化作战的神经网络”，在多种平台间构建了“交叉”式传输网络，变革传统的“树叉”式信息传输模式为“扁平”化传输模式，使诸军兵种的各级指战员能在第一时间共享各种战术信息，实现信息传输的实时性。数据链系统还采用了先进的纠错编码技术，以降低数据传输的误码率，保证了数据链传输的可靠性。此外，数据链系统的加密措施、信息格式的一致性和系统运行的智能性，使信息传输和利用更加及时、准确，从而为获取信息优势和夺取制信息权奠定了基础。

2. 数据链可实现诸兵种作战力量之间的无缝链接

信息流可以分为对作战力量运用的指挥控制指令信息、从各种传感器及各级部队向上级报告的数据情报以及从传感器或指挥控制节点到发射平台之间的数据，前两者相辅相成不可或缺。没有数据情报及时准确的汇集，指挥人员就不能正确地判断态势，不能做出正确的决策，不能正确地下达命令；没有指挥人员的指挥控制指令信息的及时下达，指挥人员就无法协调部队的作战行动。传统的信息传递模式，各兵种作战力量之间横向信息交流较少，且无法以信息流快速准确地驱动火力，造成信息化战场上指挥、探测、识别、火力之间的完全脱节，不能形成快速精确打击能力，达不到作战目的。数据链“扁平”化信息传递模式，实现了各兵种作战力量之间的横向信息交流，其战术信息数据的采集、加工、传输、处理到使用能自动完成，缩短了战术信息有效利用的时间，使各级指战员共享战场态势，使得“传感器至射手”信息流真正实现，从而使诸兵种作战力量之间无缝链接成为可能。

3. 数据链将引发作战指挥方式的深刻变革

在传统作战模式中，信息流通呈“树叉型”，指挥员和指挥机关对指挥对象进行自上而下的指挥，或以控制协调指令干预指挥对象的作战行动，下级指挥员只能在被动地接受上级的指示后，再做出决策，进行相应的部署，使本级行动符合上级意图。在这种指挥模式中，由于下级指挥员不能全面感知上级意图，而是被动地接受上级指示，对战场的反应有延迟，是典型的流水线指挥，不可能实现指挥同步。在信息化战场上，利用数据链系统将分布在陆、海、空、天的各种侦察探测系统、指挥控制系统有机结合，实现了信息共享，各指挥终端的指挥员能够通过信息网络进行实时信息交流，也就是说，在信息面前除了特别规定外，指挥链上各级指挥员的信息地位是平等的。这就意味着各作战单元指挥员依托共享的信息系统，利用战场共享态势图，可以不经上级指挥员的干预，主动地进行自我协调，并将作战意图和相关的友邻信息近实时地传递给整个部队，达成作战行动的同步，协调一致地完成作战任务，部队实现了同步指挥。

4. 数据链是作战武器装备效能发挥的倍增器

随着数据链的建设和发展,各作战平台、情报系统、指挥终端实现了高度一体化,信息传输达到了实时化。指挥员可以随时随地地获取各种所需信息,全面分析战场情况,准确判断敌情,选择最有效的某种火力或几种火力的组合,及时下达指令,从而在信息流、物质流和能量流充分结合的基础上实现了指挥决策的实时性和火力使用的科学性,使部队能在正确的指挥下以最快的速度对目标实施最有效的打击,实现武器装备效能倍增的效果。同时,各作战力量之间通过实时的信息交换,使武器的关联度大大增强,可以根据不同的控制授权或火力呼叫,实现互联互通互操作,减少武器平台的机动频率和时间,大大提高了武器装备的作战效能。

5. 数据链使作战部署更加灵活、快速和准确

当各武器平台与信息系系统建立起数据链路后,战场上的部队都能将各种传感器所获取的战场情景信息,通过纵横交错的通信传输网络,传送到各作战单元显示设备上,使各作战单元能及时看到整个战场的画面和作战态势,了解自己在战场上的确切地理位置,实现了战场环境的全透明化,这使得作战部署更加灵活、快速和准确。一是在兵力识别上,可根据实时战场环境,主要作战对象,特别是敌空袭兵器性能、空袭样式、空袭目标和空袭手段等灵活确定,使有限的兵力发挥最佳的效能;二是在作战编组上,可根据作战地区的实际情况变化和兵种武器的数量和质量等,根据战争进程,进行编组力量的调整和补充,动态增加和调整作战编组的种类或结构形式;三是在兵力配置上,可根据全透明化的战场环境,将兵力配置在主要方向和重要作战时节,并能依据战场共享的作战信息迅速、准确地调整。

6. 数据链使作战协同更加精确、主动和灵活

作战协同是各兵种作战力量按照统一的协同计划在行动上的协调配合。其目的是形成作战力量合力,达到最大的作战效能。在机械化战场上,由于战前与战时的预测差距较大,协同计划很难全盘实施,而要采取临时协同方式,又因信息传输的时效性、安全性、保密性和可靠性差等原因无法高效达成。因此,协同问题一直是亟待解决的一个难题。数据链的诞生为从根本上解决协同难题奠定了坚实的技术基础。在协同方法上,可由“计划协同”向“随机协同”、“自适应协同”转变;在协同关系上,通过实时传递的作战信息调整相互关系,使整个系统协调有序;在协同模式上,可根据精确传递的作战信息,达到精确使用作战资源、精确计算作战行动、精确预想作战效果的协同作战。

1.2 数据链的定义

数据链如此重要,那么什么是数据链呢?关于什么是数据链,军事专家、技术专家等不同人员站在不同的立场上,从不同角度出发,有不同的定义和理解。主要有以下几个方面的定义。

(1) 数据链是武器装备的生命线,是战斗力的“倍增器”,是部队联合作战的“黏合剂”。

(2) 数据链是将数字化战场指挥中心、各级指挥所、参战部队和武器平台链接起来的信息处理、交换和分发系统。

(3) 数据链是获得信息优势,提高作战平台快速反应能力和协同作战能力,实现作战指挥自动化的关键设备。

(4) 数据链通过无线信道实现各作战单元数据信息的交换和分发,采用数据相关和融合技术来处理各种信息。

(5) 数据链是采用无线网络通信技术和应用协议,实现机载、陆基和舰载战术数据系统之间的数据信息交换,从而最大限度地发挥战术系统效能的系统。

上述各种表述应该说都是对的,但不全面。广义地讲,所有传递数据的通信均可称为数据链,数据链基本上是一种在各个用户间,依据共同的通信协议,使用自动化的无线或有线收发设备传递、交换数据信息的通信链路。而狭义地讲,则可引用美国国防部对数据链下的定义:数据链是用于传输机器可读的战术数字信息的标准通信链路。数据链通过单一网络体系结构和多种通信媒体,将两个或多个指挥控制系统或武器系统连接在一起,从而进行战术信息的交换。

从通信的角度来看,数据链是按照规定的消息格式和通信协议,利用各种先进的调制解调技术、纠错编码技术、组网通信技术和信息融合技术,实时传输格式化数字信息的地/空、空/空、地/地间的战术无线数据通信系统。其本质是一种高效、实时传输保密、抗干扰、格式化消息的数据通信网络。

从作战体系角度来看,指挥、控制、通信、计算机、攻击、情报、监视与侦察系统(C⁴KISR)是数字化战场联合作战的体系保障,数据链就是C⁴KISR的信息传输“纽带”,是实现C⁴KISR的通信基础设备。简单地说,“数据链”就是链接数字化战场上的作战平台(传感器平台、指挥控制平台以及武器平台),处理和传输(交换、分发)战术信息(态势信息、平台信息和作战控制指令等)的数据通信系统。

1. 数据链链接的作战平台

根据平台的作战应用领域,通常将C⁴KISR系统中的作战平台分为传感器平台、指挥控制平台和武器平台。通过数据链,在传感器平台、指挥控制平台和武器平台间形成数据链接关系。不同类型平台由于载荷的不同,产生的信息类型存在较大差异。

(1) 传感器平台。传感器平台是数据链系统的情报信息源,分为侦察监视和预警探测两大类,分别为系统提供侦察监视情报信息和预警探测情报信息。

(2) 武器平台。武器平台包括陆基、海上、空中和天基武器平台,是作战任务的具体执行者,实现拦截、攻击等不同作战任务。陆基武器平台以坦克、战车、火炮和导弹为代表,海上武器平台以舰艇和潜艇为代表,空中武器平台以各类飞机为代表,天基武器平台在发展中。

(3) 指挥控制平台。指挥控制平台是部队实施作战决策、指挥控制的核心。包括陆海空各级地面/地下指挥所、指挥机动方舱、预警机/指挥通信机等。

数据链与平台的链接关系可用图 1.1 表示。

链接关系反映各作战平台之间的战术组合关系,如分布在空中某一区域的飞机编队、分布在海上某一区域的舰艇编队等。另外,传感器平台、武器平台、指挥控制平台多为组网形式,相互间构成传感器网络、指挥控制网络和武器协同网络。随着数据链技术的应用和发展,数据链的控制边界将延伸,链接平台的种类也将扩展。

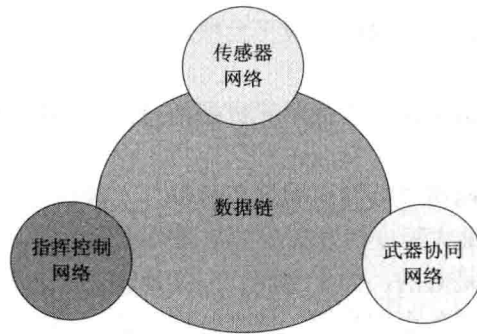


图 1.1 数据链与作战平台链接关系

2. 数据链传输的消息

数据链传输的消息可分为两类：一类是提供给网络用户的战术消息，另一类是用于自身运行所必需的勤务消息。

(1) 战术消息。数据链中传输的主要信息是战术消息。战术消息产生于作战平台，通过数据链在平台间传输，实现一定的作战任务。不同的战术任务，战术消息的类型和内容就不同。数据链的基本信息类型包括目标探测信息、态势信息、平台信息、指挥控制信息等。

传感器平台获取情报侦察信息是对敌方阵地、战略要地及重要设施的探测信息，包括敌方兵力部署、武器配置、武器性能、地形地貌及气象情况等情报；预警探测信息是对警戒距离内目标全天候的探测信息，包括目标位置、目标参数、目标属性等信息。态势信息是对探测信息融合处理后得到的更为精确的目标信息，如目标位置、航向、速度等。指挥控制信息是指令人员对武器平台发送的引导控制指令，如左转、开加力、接敌等。平台信息表示武器平台自身的状态参数，如本机位置、航向、速度、油量以及挂载武器状态等。

根据战术任务，战术信息还将包括电子战信息、控制交接、战术协同信息等。数据链实现的功能越复杂，传输的战术信息种类越多。

(2) 勤务消息。勤务消息是维护数据链系统正常运行所需的各种信息，一般由管理控制中心（指挥平台等大型平台）产生，如网络管理信息和信息管理信息。网络管理信息对数据链通信网络进行初始化、模式控制、运行管理及维护；信息管理信息对情报信息进行合批、分批、变更等处理与维护。

1.3 数据链的类型

根据数据链的作战应用领域，可将数据链分为三种类型：战术数据链、宽带数据链和专用数据链。

1. 战术数据链

战术数据链是应用于战术级作战区域，传输数字信号（数据、文本及数字语音等）的数据通信链路，提供平台间的准实时战术数据交换和分发，以满足联合作战为主要目的，主要功能包括海上作战、空中控制、监视、防空、情报、空中作战、后勤、火力支援和机动等。从应用角度可大致分为以下三种类型。

(1) 态势/情报共享型：以搜集和处理情报、传输战术数据、共享资源为主的战术数据链。

(2) 指挥控制型：以常规通信命令的下达，战情的报告、请示，勤务通信以及空中战术行动的引导指挥等为主的战术数据链。

(3) 综合型：包括前两型功能的战术数据链。

根据军兵种各自的作战行动特点，有各军兵种的战术数据链（陆军数据链、海军数据链、航空数据链等）和三军联合数据链。随着战争理念的变化，在联合作战的军事需求牵引下，战术数据链逐步向着支持三军联合作战和盟军协同作战的联合数据链方向发展。

战术数据链北约称为数据链路（Link），美军称为战术数字信息链路（Tactical Data Information Link, TADIL）。针对不同的作战需求，不同的作战目的以及不同的技术水平，美国和西方国家在不同的历史阶段产生了多种战术数据链，主要包括美军的 TADIL-A~TADIL-J 系列，北约的 Link-1、Link-2、Link-3、Link-4、Link-4A/B/C、Link-11/11B、Link-14、Link-16、Link-22 等系列。本书主要围绕战术数据链系统和关键技术相关内容展开讨论。

2. 宽带数据链

宽带数据链是专门用于分发对带宽要求高的侦察情报如图片、视频、高速数据流信息的数据链，它主要用于支持侦察和监视作战任务，具有统一的消息格式和波形规范、传输速度快、系统容量大等突出特点。拥有其他数据链无法比拟的通信带宽和数据通信能力，能够很好地解决网络中心战中图像、视频等大容量侦察情报高速传输的难题，因而目前在美军中得到了广泛的应用。随着作战网络中所需传送信息量的不断增大，对数据链路带宽的要求也越来越高，这就使得宽带数据链将在未来的信息化战争中扮演越来越重要的角色。因此，美国国防部于 20 世纪 70 年代开发传输 ISR（情报、侦察、监视）信息的宽带数据链，也称 ISR 数据链。目前已装备 E-3 空中预警机、E-8 侦察机、“全球鹰”无人机、“捕食者”无人机等侦察、监视平台。

美军研制的 ISR 宽带数据链很多，其中典型的宽带数据链系统有通用数据链、战术通用数据链和微型/小型无人机数据链等。

(1) 通用宽带数据链（Common Data Link, CDL）

美国国防部 20 世纪 80 年代初提出并开始研制宽带数据链，于 1991 年将 CDL 确定为宽带情报侦察数据链标准并发布了《CDL 波形规范》，同时得到了北约其他成员国的认可，之后北约也以该规范为基础发布了相应的北约宽带数据链标准 STANAG70850。通用宽带数据链链接指挥控制平台与空中平台（侦察机/无人机/卫星），主要传输图像和情报信息，执行侦察任务的空中平台可通过 CDL 对合成孔径雷达、光学照相、红外照相的图像进行实时传输。通用宽带数据链采用全双工的工作方式，具有抗干扰能力，工作频段主要有 C、X 和 Ku 频段，可利用卫星或空中中继飞机实现超视距通信。

(2) 战术通用数据链（Tactical Common Data Link, TCDL）

虽然基于 CDL 的通用宽带数据链的数据传输能力完全能够满足无人机的各种战术需求，但是已有的 CDL 系列通用宽带数据链终端的重量、体积、功耗以及成本却无法适应无人机平台，于是专门针对类似无人机等小型平台的通用宽带数据链便诞生了，它就是战术通用数据链（TCDL）。除了应用于无人机的 TCDL 系统外，美军也开发了可安装在直升机上的 TCDL 系统（“鹰链” Hawklink）、海军用的 TCDL 系统（TCDL-N）以及单兵使用的手持式 TCDL

系统。TCDL-N 是一种 Ku 波段的视距数据传输链路，用于将 P-3C 反潜机和 S-3 舰载反潜机获取的图像情报和信号情报传送到地面终端或者舰载终端。

(3) 微型/小型无人机数据链

微型/小型无人机比战术无人机级别更低，通常配备背负式地面站。微型/小型无人机数据链与 TCDL 性能相似。以色列 Tadiran Spectralink 公司将“星链”(STARLink)和战术视频链路 II (TVL II, Tactical Video Link II) 用于微型、小型无人机，以增强其战场的信息搜集能力。“星链”是一个全数字化快速跳频系统，包括空中数据终端、地面数据终端和空中数据中继设备，所有这些设备都是微型的，其中，在无人机上的部件重量仅有 1/2~2/3 磅。该类型数据链适用于微型/小型无人机在城区、崎岖不平的地形、山上或有建筑物遮挡处进行侦察或战场损伤评估。

3. 专用数据链

专用数据链是应用于某个特殊战术领域的通信链路，可以理解为战术数据链的一类特殊分支。与战术数据链相比，其功能和信息交换形式较为单一。比较典型的有增强型定位报告系统 (EPLRS)、态势感知数据链 (SADL)、情报广播数据链、监视与控制数据链 (SCDL)、武器数据链 (WDL)、陆军 1 号战术数据链 (ATDL-1) 等。

1.4 数据链的基本组成

从数据链的组成要素角度来看，数据链系统包括三个基本要素：传输通道、通信协议和标准的格式化消息。

传输通道是数据链通信的基础，通常表现为端机、数据终端及电台等；通过选择合适的信道、工作频段、发射功率、调制解调方式等，产生数据链信号波形，满足数据链战术信息传输要求，如通信距离、通信方式、通信业务、通信带宽、传输速率等。

通信协议是数据链网络中有关信息传输顺序、网络控制方面的规约，主要解决各种应用系统的格式化消息如何通过信息网络可靠而有效地建立链路，从而快速达成信息的交互。它主要包括频率协议、波形协议、链路协议、网络协议等。在数据链系统各节点加载初始化程序后，各节点按照通信协议的操作控制及时序规定，自动生成、处理、交换战术信息，建立通信链路，形成一定拓扑结构的通信网络，满足作战任务的实时、可靠通信的需求，完成作战任务。

标准的格式化消息是对数据链传输信息的帧结构、信息类型、信息内容、信息发送/接收规则的详细规定，形成标准格式，以利于计算机生成、解析与处理。格式化消息是数据链系统传送的数据内容，它使机器可以识别，传输的数据可用于控制武器平台，也可以产生图形化的人机界面。严格科学的格式化消息标准是数据链广泛应用的前提条件。首先，它能够保证战场上的各类作战信息按照统一约定的格式传输分发达达到共享；其次，在复杂的无线信道通信环境中，经编码技术处理的格式化消息能够提高链路抗干扰能力。有了科学的格式化消息标准才能够使各作战平台的传感器、指控系统、武器平台真正达到有机连接起来的目的。

从设备角度来看，数据链的组成部分主要包括战术数据系统 (Tactical Data System, TDS)、接口控制处理器、数据链终端设备和无线收/发设备等，如图 1.2 所示。

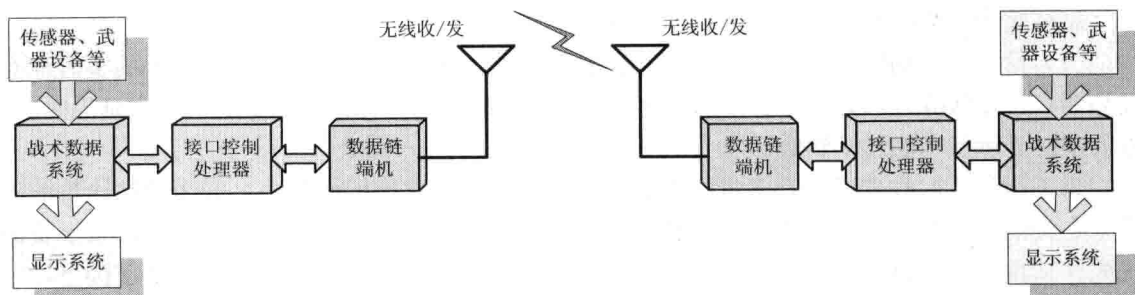


图 1.2 数据链系统构成示意图

战术数据系统（TDS），实际上就是一台计算机系统，完成格式化消息转换。它接收各种传感器和操作人员发出的数据（如雷达、CCD 成像系统、武器系统等），并将这些数据转换成标准的报文格式。

接口控制处理器完成不同数据链的接口和协议转换，实现战场态势的共享和指挥控制命令、状态信息的及时传递。为了保证对信息的一致理解以及传输的实时性，数据链交换的消息是按格式化设计的。根据战场实时态势生成和分发以及传达指控命令的需要，按所交换信息内容、顺序、位数及代表的计量单元编排成一系列面向比特的消息代码，便于在指控系统和武器平台中的战术数据系统及主任务计算机中对这些消息进行自动识别、处理、存储，并使格式转换的时延和精度损失减至最小。

数据链端机简称端机，是数据链网络的核心部分和最基本单元，主要由调制解调器、网络控制器和密码设备等组成。密码设备是数据链系统中的一种重要设备，用来确保网络中数据传输的安全。通信规程、消息协议一般都在端机内实现，它控制着整个数据链路的工作并负责与指挥控制或武器平台进行信息交换。一般要求端机具有较高的传输速率、抗干扰能力、保密性、鲁棒性和反截获能力，实现链路协议和动中通。数据链各端机之间需要构成网络便于交换信息，通信协议用于维持网络有序和高效地运行。传输通道通常是由端机和无线信道构成的，端机设备在通信协议的控制下进行数据收发和处理。

数据链的工作过程一般是：首先由作战单元的主任任务计算机将本单元欲发送的战术信息，通过 TDS 按照数据链消息标准转换为格式化消息，经过接口处理及转换后，由端机按照组网通信协议处理后，再通过传输设备发送（通常为无线设备）。接收方（可以一个或多个）由其端机接收到信号后，由端机按组网通信协议进行接收处理，再经过接口处理及转换后，由 TDS 进行格式化消息的解读，最后送交到主任任务计算机进行进一步处理和应用，并通过图形符号的形式显示在作战单元的屏幕上。

1.5 数据链的特征

数据链与作战平台紧密结合，把地理上及空间上分散的部队、各种探测器和武器系统链接在一起，保证战场态势、指挥控制、武器协同、情报侦察、预警探测等信息的实时、可靠、安全地传输，实现信息共享，缩短决策时间，提高指挥速度和协同作战能力，增加部队的整体作战能力和防御能力，对敌方实施快速、精确、连续的打击，对我方的重要目标进行全方位的有效保护。